

Medida horizontal do campo magnético terrestre

Horácio Fernandes¹

1. Dep. Física, Instituto Superior Técnico, Lisboa

Resumo

Apesar do sentido e direção do campo magnético ser quase intuitivo para todos graças à utilização da bússola já a sua medida, com a determinação dum valor nem que seja aproximado, exige equipamento caro e cujo funcionamento é incompreensível para os alunos. Nesta experiência propomos uma experiência simples com material corrente que permite determinar o valor da componente horizontal do campo magnético terrestre com uma precisão razoável usando uma simples bússola e uma bobina de Helmholtz artesanal.

Introdução

O campo magnético terrestre [1,2] é por excelência a melhor forma de comunicar o significado de *campo vetorial* quer em física quer em matemática porque os alunos intuem através duma simples bússola a existência do seu sentido e direção e, conseqüentemente distinguem-no imediatamente dum campo escalar. Contudo, medir o seu valor afigura-se mais complexo e difícil.

Nesta experiência iremos demonstrar uma forma de determinar o valor da componente horizontal do do campo magnético terrestre numa atividade simples, associando a sua natureza às correntes elétricas. Por outro lado permite ainda a compreensão aplicada da adição vetorial de grandezas. Uma versão mais elaborada e precisa pode ser consultada em [1] ou nas referências aí sugeridas.

A experiência consiste na construção duma bobina de Helmholtz e a posterior determinação do desvio da agulha duma bússola colocada no seu interior devido à corrente elétrica que a percorre.

Para simplificar as medidas iremos usar um número de espiras n tal que a corrente medida em mA seja idêntica ao valor do campo magnético em μT . Com efeito a partir da equação (1), resolvendo em ordem a n ficamos com:

$$n = \left(\frac{4}{5}\right)^{-3/2} \frac{r}{\mu_0} \frac{B}{I} \cong 26$$

e para $B=1 \mu\text{T}$ e $I=1 \text{ mA}$, obtemos $n=26\pm 1$ sendo no nosso caso $r=24 \text{ mm}$. De acordo com cada montagem experimental este valor deve ser recalculado atendendo à geometria precisa das bobinas, ou seja, levando em conta a sua espessura média aproximada e a determinação do diâmetro exacto da garrafa nos sulcos. Caso os sulcos onde se bobina os enrolamentos distem mais entre si do que o valor de um raio deve-se arredondar por excesso o número das espiras na situação inversa, arredondar por defeito. Desta forma compensamos o campo devido a este pequeno erro sistemático.

Ao arredondar para o inteiro mais próximo cometemos um erro sistemático que, em conjunto com as medidas aproximadas das bobines, não deve ultrapassar na totalidade os 10% embora este erro possa ser corrigido *a posteriori* calculando exactamente o campo.

Bobina de Helmholtz

A “bobina de Helmholtz” [3] consiste na prática em duas bobinas idênticas e paralelas entre si cuja distância entre ambas é igual aos seus raios. Esta bobina tem a particularidade de possuírem um campo axial praticamente uniforme em $2/3$ do seu volume central. Com efeito ao minimizar a primeira e segunda derivadas do campo conclui-se que, para uma distância entre o par de bobinas equivalente ao seu raio, o valor do campo magnético nesse volume é constante e igual a:

$$B = \left(\frac{4}{5}\right)^{3/2} \mu_0 \frac{nI}{r} \quad (1)$$

onde n é o número de espiras de cada uma das bobinas, μ_0 a permeabilidade magnética do ar, r o seu raio e I a corrente que as atravessa.

Montagem experimental

Material:

- 1 garrafa de água plástica de 0,5 l vazia (~50 mm diâmetro) com sulcos paralelos
- 1 amperímetro (0-200mA)
- Fio de cobre isolado com verniz (por exemplo retirado dum transformador)
- Suporte pilhas 1,5V
- Bússola
- Reóstato de 100Ω a 1kΩ
- Fio elétrico qb
- 2 conectores bananas e interruptor (facultativo)

Inicialmente escolhe-se um suporte cilíndrico que permita bobinar corretamente as espiras da bobina de Helmholtz (Fig.1). Este par de bobinas circulares é montado sobre um eixo comum, por exemplo uma vulgar garrafa de água, com correntes iguais entre si e que fluem no mesmo



Fig. 1 - Montagem experimental com o potenciômetro fixo à tampa de modo a facilitar a execução da experiência. A escolha judiciosa do nº de espiras permite uma leitura direta em micro-tesla usando o amperímetro na escala de mA.

sentido. No nosso caso tiramos partido da tampa da garrafa para fixar o reóstato (resistência variável), tendo o cuidado de traçar os cabos elétricos enrolando-os sobre si mesmos para não criarem campos de erro (estando o cabo traçado e sendo as correntes anti-paralelas, conseqüentemente não produzem campo no seu exterior).

Colocando a bússola no interior da garrafa e entre as bobinas segundo o seu plano médio, alinha-se a garrafa de modo às bobinas ficarem paralelas à agulha da bússola. Deste modo garantimos que quando começar a fuir corrente, o campo criado será ortogonal ao campo terrestre pelo que agulha da bússola fica a 90° com o eixo das bobines na condição de ausência de corrente. Deve-se

posicionar a agulha da bússola na região central onde o campo é mais uniforme, uma vez que o encapsulamento ocupa geralmente dimensões relevantes.

Liga-se o circuito e vai-se diminuindo a resistência do reóstato de modo a aumentar a corrente no circuito, facto que se constata facilmente ao medir o valor em mA no amperímetro. Como

escolhemos o número de espiras adequadamente, esta medida indica o valor do campo magnético diretamente em micro-tesla. Quando a agulha da bússola desviar 45°, significa que o campo criado é de igual valor ao campo local que em princípio é somente o da Terra. Convém verificar que não existem objetos com massas significativas de material ferromagnético nas proximidades.

O circuito (Fig. 2) é facilmente roteado com o fio remanescente da bobine. Como este fio tem verniz que impede uma soldadura direta, para efetivar as soldaduras usa-se um truque simples: queimam-se as extremidades com a ajuda dum isqueiro e posteriormente limpam-se com uma lixa fina ou esfregão de cozinha.

Resultados esperados

Devido à sensibilidade da bússola convém realizar a experiência uma dezena de vezes quer aproximando por excesso quer por defeito a medida a 45°. Deste modo os erros sistemáticos devido ao atrito interno da agulha são minimizados.

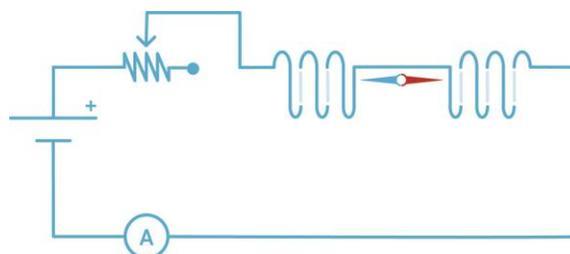


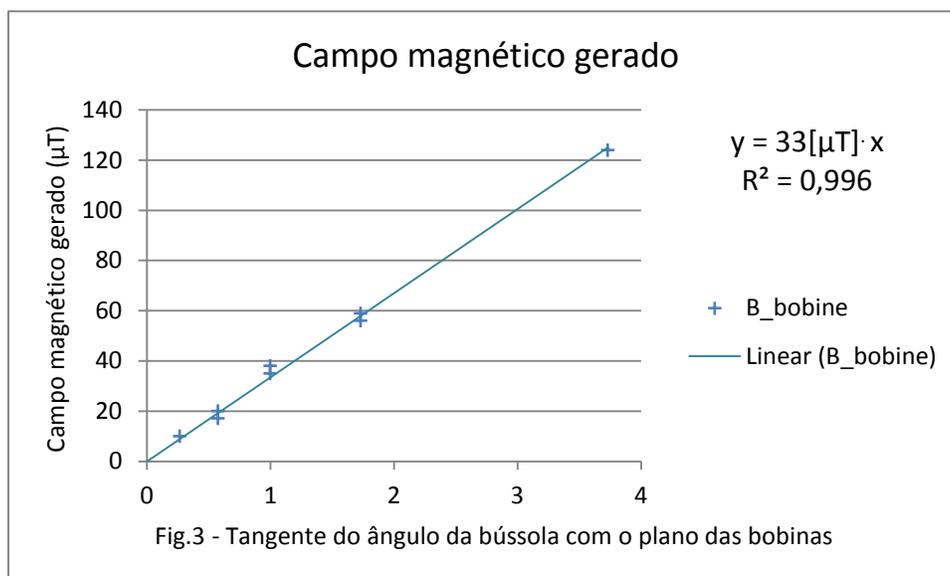
Fig. 2 - Circuito elétrico equivalente onde se pode utilizar um reóstato de 100Ω a 1kΩ de acordo com a sensibilidade requerida e a bateria empregue.

Um conjunto de experiências adicionais poderá ser realizado para outros ângulos (fig. 3): com efeito a tangente do ângulo da bússola é a relação entre a força (torque) exercida pelo campo terrestre e o criado pela bobina. Ao traçar um gráfico do campo em função da tangente do ângulo de desvio da bússola, como a $\tan(\theta) = B_{Bobine}/B_{Terra}$, poderemos determinar o declive do ajuste linear do gráfico (B_{Terra}) que não é mais do que o campo magnético da terra:

$$B_{Bobine} = B_{Terra} \cdot \tan(\theta)$$

Note-se que, devido aos erros sistemáticos e aleatórios, o valor determinado deverá ser expresso com os devidos algarismos significativos. A sensibilidade ao diâmetro da garrafa é particularmente importante devido à sua dependência em r^2 . Neste artigo não se deu particular importância ao tratamento de erros devido ao método artesanal empregue (realce para o desvio dos 33 μT medidos para o valor mais preciso de 26 μT determinado em [4]). Contudo

esta experiência é bastante inspiradora e liberta a criatividade dos alunos na obtenção de soluções para a melhoria dos dados experimentais.



Referências

- [1] A Cartacci and S Straulino, “Measuring the Earth's magnetic field in a laboratory”, 2009
- [2] <https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/geomaginfo.shtml>, acesso 23/10/2017
- [3] https://en.wikipedia.org/wiki/Helmholtz_coil, acesso 23/10/2017
- [4] <https://ngdc.noaa.gov/geomag-web/#igrfwmm>, acesso 23/10/2017

Nota biográfica



O autor é professor do departamento de física do IST e investigador no Instituto de Plasmas e Fusão Nuclear onde coordena a atividade do tokamak ISTTOK. Em 1999 criou o e-lab,

laboratório remoto do IST, com acesso livre. Mantém igualmente uma regular participação em divulgação científica. Foi membro do "Technical Advisor Panel" da agência europeia para o ITER (F4E) e investigador coordenador duma atividade de pesquisa da IAEA.